

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pupuk Hayati

Pupuk hayati adalah nama kolektif untuk semua kelompok fungsional mikroba tanah yang dapat berfungsi sebagai penyedia hara dalam tanah, sehingga dapat tersedia bagi tanaman. Pemakaian istilah ini relatif baru dibandingkan dengan saat penggunaan salah satu jenis pupuk hayati komersial pertama di dunia yaitu inokulan *Rhizobium* yang sudah lebih dari 100 tahun yang lalu (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Rao dalam Lasrin (1997) mendefinisikan pupuk hayati sebagai bahan yang mengandung sel hidup atau galur sel mikroba yang memiliki kemampuan untuk menambat nitrogen maupun fosfat yang sukar larut. Penggunaan pupuk ini biasanya dicampur dengan benih, tanah atau dengan kompos. Pengertian lain dari pupuk hayati adalah bahan yang mengandung mikroba dan bermanfaat untuk meningkatkan kesuburan tanah serta membantu pertumbuhan tanaman melalui peningkatan aktivitas mikroba di dalam tanah. Kemungkinan penggunaan pupuk hayati sebagai pengganti penggunaan pupuk kimiawi di Indonesia bukan merupakan sesuatu yang mustahil di masa-masa mendatang (Supardan, 1996).

Rao (1986) menganggap sebenarnya pemakaian inokulan mikroba lebih tepat dari istilah pupuk hayati. Definisi pupuk hayati adalah sebagai preparasi yang mengandung sel-sel dari strain-strain efektif mikroba penambat nitrogen, pelarut fosfat atau selulolitik yang digunakan pada biji, tanah atau tempat pengomposan dengan tujuan meningkatkan jumlah mikroba tersebut dan mempercepat proses mikrobial tertentu untuk menambah banyak ketersediaan hara dalam bentuk tersedia yang dapat diasimilasi tanaman.

Vessey (2003) mendefinisikan pupuk hayati sebagai suatu substansi yang mengandung mikroorganisme hidup, yang bila diterapkan pada bibit tanaman atau tanah, koloni rhizosfer atau bagian tanaman akan memacu pertumbuhan dengan meningkatkan pasokan ketersediaan hara utama tanaman. Penggunaan pupuk hayati menjadi sebuah terobosan penting pada bidang pertanian di saat harga pupuk anorganik yang tinggi dan degradasi lahan terus meningkat. Pengertian di atas memberikan gambaran bahwa pupuk hayati pada dasarnya adalah untuk membantu tanaman dalam penyediaan dan proses serapan hara. Prinsip kerja pupuk hayati adalah menghasilkan ketersediaan unsur-unsur hara penting yang diperlukan oleh tanaman atau menghasilkan senyawa senyawa metabolik yang berperan sebagai enzim atau fitohormon yang dapat memacu pertumbuhan tanaman (Hindersah & Simarmata 2004).

Pupuk hayati berbeda dari pupuk kimia buatan, misalnya urea, TSP dan lainlain, karena dalam pupuk hayati komponen utamanya adalah jasad hidup yang pada umumnya diperoleh dari alam tanpa ada penambahan bahan kimia. Pupuk kimia buatan misalnya ammonia, umumnya dibuat di dalam industri besar dengan menggunakan proses yang mengkonsumsi banyak energi. Sebagai contoh, pupuk nitrogen buatan yang dibuat dengan proses Harber-Bocsh memerlukan energi sebanyak 13.500 kilo kalori/Kg nitrogen dengan suhu sekitar 8000. Dari segi ekonomi penggunaan pupuk hayati sangat hemat dibanding pupuk kimia. Pupuk bio, seperti Legin, Bio-Lestari, Rhiposant mempunyai kandungan bakteri *Rhizobium* 10.000.000 – 1.000.000.000 sel tiap g, dengan masa simpan 6 bulan setelah diproduksi. Pupuk disimpan dalam kemasan polycellonium / aluminium foil, berat bersih 30 g untuk pertanaman 2000 m<sup>2</sup> dengan tekanan diatas tekanan atmosfer. Penyimpanan pupuk yang memerlukan energi besar biasanya menggunakan energi fosil, misalnya minyak bumi, sehingga produksi pupuk nitrogen buatan mempunyai implikasi yang besar dalam penyediaan energi serta menimbulkan

masalah yang besar. Di lain pihak, *Rhizobium* mampu melakukan pengikatan nitrogen dari atmosfer hanya dengan energi biologis yang sangat kecil sehingga tidak menimbulkan masalah energi maupun lingkungan. Keberadaan mikrobia – mikrobia seperti inilah yang kemudian menimbulkan gagasan untuk pemanfaatannya sebagai pupuk hayati (Yuwono, 2006).

Pupuk hayati mempunyai dua implikasi dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman yaitu implikasi secara langsung dan tidak langsung. Implikasi secara langsung terhadap tanaman adalah bahwa pupuk hayati membantu tumbuhan dalam memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat, memproduksi hormon pertumbuhan seperti auksin, giberelin, dan sitokinin yang dapat memacu setiap tahapan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Sedangkan implikasi secara tidak langsung adalah peranannya dalam memproduksi antibiotik, menginduksi sistem pertahanan, mensintesis senyawa metabolik anti jamur, memproduksi enzim yang dapat melisis dinding sel cendawan serta berkompetisi dengan bakteri patogen lainnya di daerah perakaran (Glick *et al.* 1999).

## **2.2 *Bradyrhizobium japonicum***

Bakteri fiksasi  $N_2$  yang hidup bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan (rhizobia) disebut juga sebagai bakteri bintil akar (root nodulating bacteria). Pemanfaatan rhizobia sebagai inokulan pupuk hayati dapat meningkatkan ketersediaan N bagi tanaman, yang dapat mendukung peningkatan produktivitas tanaman kacang-kacangan. Keefektivan inokulasi rhizobia dipengaruhi oleh kesesuaian inokulan rhizobia dengan jenis dan varietas tanaman dan jenis tanah yang diinokulasi, serta faktor kompetisi dengan rhizobia indigenous. *Rhizobium* yang dapat menodulasi tanaman kedelai secara efektif dikenal sebagai *Bradyrhizobium japonicum*. *Bradyrhizobium* dan *Sinorhizobium* dapat menyediakan seluruh kebutuhan N

tanaman kedelai, sehingga memegang peranan penting dalam penghematan penggunaan pupuk N (Sumarno dan Saraswati, 2008).

*Rhizobium* merupakan jenis mikroba penambat N yang mampu bersimbiosis dengan tanaman legum. Berdasarkan taksonominya, *Rhizobium* masuk ke dalam divisi Protophyta, kelas Schizomycetes, ordo Eubacteriales, famili Rhizobiceae dan genus *Rhizobium*. Klasifikasi *Rhizobium* berdasarkan pengelompokkan inokulasi silang. Prinsip pengelompokkan inokulasi silang didasarkan pada kemampuan suatu isolat *Rhizobium* untuk membentuk bintil pada genus-genus yang terbatas dari spesies legum yang satu sama lain berkerabat dekat. *Rhizobium* hidup bebas dalam tanah dan dalam daerah perakaran tumbuhtumbuhan legum maupun bukan legum. Walaupun demikian, bakteri *Rhizobium* dapat bersimbiosis hanya dengan tumbuh-tumbuhan legum, hanya dengan menginfeksi akarnya dan membentuk bintil akar di dalamnya (Rao, 1997).

*Rhizobium* merupakan mikroba penghuni tanah yang bersifat heterotrof (tidak dapat membuat makanan sendiri) dan tumbuh baik pada temperatur 25°C sampai 30°C. *Rhizobium* dapat melakukan simbiosis umumnya dengan tanaman dari famili *Leguminosae*. Simbiosis yang terjadi antara *Rhizobium* dengan tanaman Legume ialah dengan terbentuknya bintil akar (nodul) (Rao, 1997). Menurut Pelczar and Chan (1988) dalam Sari (2010), simbiosis antara tanaman legum dan bakteri ini adalah saling menguntungkan (mutualisme) untuk kedua pihak. Karena simbiosis ini pupuk nitrogen dapat dihemat penggunaannya. Bakteri mendapatkan energi (fotosintat) dari tanaman inang sedangkan tanaman inang mendapat unsur nitrogen dari bakteri untuk melangsungkan kehidupannya.

Pada penambatan N udara, tanaman kedelai bersimbiosa dengan bakteri *Rhizobium* yang disebut *Bradyrhizobium japonicum* yang sebelumnya dikenal dengan nama *Rhizobium*

*japonicum* (Bereiner and Day, 1995 dalam Muhibuddin, 2010). Pada lahan-lahan yang sebelumnya tidak pernah ditanami kedelai, inokulasi dengan menggunakan *Bradyrhizobium japonicum* merupakan tindakan yang tepat, karena pada lahan pertanian yang tidak pernah ditanami kedelai atau kacang-kacangan, bakteri *Rhizobium* jarang atau hampir tidak ditemukan sama sekali (Somasegaran *et al.*, 1995 dalam Muhibuddin, 2010).

### 2.3 Pengaruh Tekanan Osmotik terhadap Mikroorganisme

Pengaruh tekanan osmosis pada pertumbuhan bakteri disebabkan karena adanya perbedaan tekanan osmosis di dalam dan di luar sel yang akan menyebabkan gangguan pada sistem metabolisme di dalam sel bakteri jika lingkungan mempunyai tekanan osmosis yang besar akan dapat mengganggu metabolisme dalam sel. Meskipun demikian beberapa jenis bakteri dan juga mikroba lainnya ada yang mempunyai ketahanan terhadap tekanan osmosis tinggi, misalnya mikroba golongan osmofilik. Pada umumnya mikrobia terhambat pertumbuhannya di dalam larutan yang hipertonis. Karena sel-sel mikrobia dapat mengalami plasmolisa. Didalam larutan yang hipotonis sel mengalami plasmoptisa yang dapat di ikuti pecahnya sel. Beberapa mikrobia dapat menyesuaikan diri terhadap tekanan osmose yang tinggi; tergantung pada larutanya dapat dibedakan jasad osmofil dan halofil atau halodurik. Medium yang paling cocok bagi kehidupan bakteri ialah medium yang isotonik terhadap isi sel bakteri. Jika bakteri di tempatkan di dalam suatu larutan yang hipertonik terhadap isi sel, maka bakteri akan mengalami plasmolisis. Larutan garam atau larutan gula yang agak pekat mudah benar menyebabkan terjadinya plasmolisis ini. Sebaliknya, bakteri yang ditempatkan di dalam air suling akan kemasukan air sehingga dapat menyebabkan pecahnya bakteri, dengan kata lain, bakteri dapat mengalami plasmoptisis. Berdasarkan inilah maka pembuatan suspense

bakteri dengan menggunakan air murni itu tidak kena, yang digunakan seharusnya medium cair. Jika perubahan nilai osmosis larutan medium tidak terjadi sekonyong-konyong, akan tetapi perlahan-lahan sebagai akibat dari penguapan air, maka bakteri dapat menyesuaikan diri, sehingga tidak terjadi plasmolisis secara mendadak (Burrows, 2004).

## **2.4 Bahan Kemasan**

Bahan kemasan plastik dibuat dan disusun melalui proses polimerisasi. Komponen utama plastik sebelum membentuk polimer adalah monomer, yakni rantai yang paling pendek. Polimer merupakan gabungan dari beberapa monomer yang akan membentuk rantai yang sangat panjang. Bila rantai tersebut dikelompokkan bersama-sama dalam suatu pola acak, menyerupai tumpukan jerami maka disebut amorp, jika teratur hampir sejajar disebut kristalin dengan sifat yang lebih keras dan tegar (Winarno, 1994).

Kemasan plastik memiliki beberapa keunggulan yaitu sifatnya kuat tapi ringan, inert, tidak karatan dan bersifat termoplastis (heat seal) serta dapat diberi warna. Sifat permeabilitas plastik terhadap uap air dan udara menyebabkan plastik mampu berperan memodifikasi ruang kemas selama penyimpanan (Winarno, 1994). Kelemahan bahan ini adalah adanya zat-zat monomer dan molekul kecil lain yang terkandung dalam plastik yang dapat melakukan migrasi ke dalam bahan makanan yang dikemas.

Plastik berisi beberapa aditif yang diperlukan untuk memperbaiki sifat-sifat fisiko kimia plastik itu sendiri. Bahan aditif yang sengaja ditambahkan itu disebut komponen non plastik, diantaranya berfungsi sebagai pewarna, antioksidan, penyerap cahaya ultraviolet, penstabil panas, penurun viskositas, penyerap asam, pengurai peroksida, pelumas, peliat, dan lain-lain (Winarno, 1994).

Pupuk hayati *Rhizobium* pada kemasan plastik telah mengalami kerusakan dalam pengemasan selama sepuluh bulan penyimpanan di dalam inkubator suhu 28°C. Indikator kerusakan pupuk hayati *Rhizobium* dalam kemasan plastik, adalah kadar air bahan yang menyusut dan terjadinya kontaminasi sehingga daya viabilitas bakteri dalam pupuk hayati *Rhizobium* sudah tidak dapat diikuti lagi. Total mikroba yang ada sudah tidak sesuai dengan yang tertera di dalam label. Komposisi bahan karier masih menunjukkan harkat kesuburan yang tinggi untuk mendukung kehidupan mikroba (Prihastuti, 2012).

Alumunium merupakan bahan kemasan yang juga banyak digunakan. Alumunium tidak memiliki ketahanan terhadap oksigen sehingga pada lapisan atas sering dilapisi dengan alumunium oksida,  $Al_2O_3$ . Namun, ada berbagai macam gas, uap dan cairan yang agresif yang dapat merusak lapisan tersebut, misalnya air kontak dengan logam berat. Foil adalah bahan kemasan dari logam, berupa lembaran alumunium yang padat dan tipis dengan ketebalan kurang dari 0,15 mm. Foil mempunyai sifat hermetis, fleksibel dan tidak tembus cahaya. Ketebalan dari alumunium foil menentukan sifat protektifnya. Foil dengan ketebalan rendah masih dapat dilalui oleh gas dan uap. Sifat-sifat alumunium foil yang tipis dapat diperbaiki dengan memberi lapisan plastik atau kertas menjadi foilplastik, foil-kertas, atau kertas-foilplastik (Robertson, 1993). Jenis kemasan yang paling baik untuk mengemas inokulum MVA adalah jenis kemasan aluminium foil, karena dapat mempertahankan derajat infeksi dan potensi inokulum yang tetap tinggi (Astiko, 2008).

Alumunium foil didefinisikan sebagai alumunium primer, yaitu alumunium yang dihasilkan dari proses elektrolisis biji alumunium dari alam, dan alumunium sekunder yaitu alumunium yang dihasilkan dari proses peleburan kembali alumunium bekas atau sisa proses. Sifat-sifat yang dimiliki alumunium foil adalah memiliki densitas 2.7 g/cm paling baik untuk

bahan penghalang dari udara, cahaya, lemak, dan uap air, memiliki sifat mekanis yang baik, memiliki sisi kilap dan buram, rentan terlipat dan keriput, mudah dibentuk, konduktor yang baik, dapat diembos dan kaku, bebas dari bau, dan suhu tinggi (Interkemas Flexipack, 2003).

Laminasi adalah proses melekatkan satu material yang lain dengan menggunakan media laminasi. Ada dua jenis proses dasar laminasi, yaitu laminasi basah dan laminasi kering. Proses laminasi dilakukan oleh converter untuk menggabungkan dua atau lebih lapisan bersama-sama (muk, 1994). Tujuan laminasi adalah untuk mengkombinasikan sifat-sifat terbaik dari seluruh material menjadi satu struktur kemasan. Bahan-bahan yang biasa digunakan dalam proses laminasi adalah bahan *Oriented Polypropylene* (OPP), *Polypropylene* (PP) dan *Cast Polypropylene* (CPP).

## 2.5 Suhu

Salah satu faktor yang menentukan mutu pupuk mikroba adalah jumlah mikroorganisme yang terkandung di dalamnya. Jumlah tersebut dapat berkurang karena suhu yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyimpanan pada suhu rendah umumnya lebih cocok untuk ketahanan hidup mikroorganisme dari pada suhu tinggi. Peningkatan suhu menyebabkan kelembaban menurun. Dengan mempertahankan kelembaban, kematian mikroorganisme dapat dikurangi. Berdasarkan tingkat kelembabannya yang cukup tinggi, gambut cukup baik untuk pertumbuhan mikroorganisme, baik berupa bakteri maupun jamur. Selain peka terhadap suhu tinggi mikroba juga peka terhadap sinar matahari langsung. Pada penggunaan inokulan bakteri *Rhizobium*, inokulasi biji legum harus dilakukan pada tempat yang teduh, karena bakteri tersebut tidak tahan terhadap sinar matahari langsung. Untuk melindungi konsumen dan produsen pupuk mikroba, maka diperlukan suatu sistem pengawasan yang memadai dan dapat



dipertanggung jawabkan, sehingga hal-hal yang tidak diinginkan seperti pemalsuan atau penurunan kualitas dapat dihindari. Sistem monitoring dapat dilakukan untuk mengetahui jumlah, jenis, dan kualitas pupuk mikroba yang beredar di pasaran. Pada pengujian pupuk mikroba, perlu diamati label pada kemasan yang mencantumkan nama genus serta jumlah mikroorganisme, tanggal kadaluwarsa, cara penyimpanan, serta jenis tanaman yang cocok. Lakukan pengujian atas jenis dan jumlah mikroorganisme yang terkandung dengan metode plate count, tetapkan kelembapan bahan pembawa, dan lakukan pengujian efektivitas pupuk tersebut (Tombe, 2008). Ruang penyimpanan yang baik untuk menyimpan inokulum mikoriza vesikula arbuskula (MVA) adalah kulkas dengan suhu sekitar 4°C. (Astiko, 2008).

## **2.6 Media Moss**

Media tanam berfungsi sebagai tempat berpegangan akar tanaman yang ditanam dan untuk menyerap larutan nutrisi saat disiram atau diteteskan kemudian larutan nutrisi tersebut diserap oleh perakaran. Syarat yang digunakan untuk media tanam antara lain steril, porous, ringan, mudah didapat dan murah. Tanaman membutuhkan unsur hara yang tepat untuk mencukupi kebutuhan tanaman. Selain itu tanaman juga membutuhkan air dan sinar matahari untuk dapat melangsungkan daur hidupnya (Hartus, 2002).

Media tanam campuran sphagnum moss dengan arang kayu memiliki daya pegang air yang paling tinggi, sehingga kelembapan dan ketersediaan air dapat terjaga dengan baik, namun penggunaan media yang memiliki daya pegang air tinggi di daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi akan memacu pertumbuhan jamur dan pembusukan pada akar tanaman (Suradinata *et al.*, 2012). Moss adalah salah satu jenis tanaman air yang hidup dengan merambat pada kayu atau batu sebagai substratnya (Adinugraha, 2007).